

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЭС ПАРОТУРБИННЫМИ
АГРЕГАТАМИ МАКСИМАЛЬНОЙ РЕГЕНЕРАЦИИ
С АДИАБАТИЧЕСКИМ ФАЗООБРАЗОВАНИЕМ
В ГОЛОВНОЙ ЧАСТИ ТУРБИНЫ**

С. В. ПОЛОЖИЙ

(Представлена научным семинаром кафедры ТЭУ)

Технический прогресс в мировой и отечественной энергетике за последние 15—20 лет обусловлен современным паросиловым циклом благодаря переводу теплоэнергетики на сверхвысокие и закритические параметры пара, применению сложного регенеративного подогрева питательной воды, повторного перегрева пара при широчайшем прогрессе в части производства основного и вспомогательного оборудования блочных ТЭС, исключительно высокой концентрации и централизации производства электрической энергии в блочных установках огромной мощности. В результате этого произошло резкое улучшение технико-экономических показателей производства электроэнергии на ТЭС — снижение удельного расхода топлива, первоначальных и текущих капиталовложений на строительство и эксплуатацию ТЭС, себестоимости производства электрической энергии.

В рамках существующего паросилового цикла современное направление развития теплоэнергетики, техническая политика в этой области, безусловно, являются правильными и доказаны всем ходом развития мировой и отечественной энергетике за последние два десятка лет. Низкий технический уровень развития теплоэнергетики прошлого периода особенно рельефно подчеркивает высокие технико-экономические показатели мощных блочных ТЭС сверхвысоких и закритических параметров пара. Последнее обстоятельство является одной из причин удовлетворения таким путем развития теплоэнергетики, некритического отношения к недостаткам современного паросилового цикла. Этим также в значительной степени определяется недооценка сторонниками современного паросилового цикла работ Томского политехнического института по паротурбинным установкам с адиабатическим фазообразованием, а также строительство блочных ТЭС в начальный период в мировой энергетике на практически непригодные начальные температуры и давления пара в 300—350 ат и 600—650°C. В результате этого энергетика США после 6—8 лет освоения и эксплуатации таких высокотемпературных блоков в 600—650°C в начале шестидесятых годов полностью от них отказалась и вынуждена была перейти к строительству блоков на низкую температуру порядка 538°C. То же случилось и с энергетикой ФРГ, а позже пришлось понизить начальную температуру пара и в энергетике СССР.

Седьмая энергетическая мировая конференция (Москва, 1968 г.) фактически подвела неутешительные итоги современному состоянию мощных блочных установок сверхвысокого и закритического давления пара, дала объективную оценку современному паросиловому циклу и его низким возможностям обеспечить дальнейшее повышение тепловой экономичности ТЭС [1—4]. Работу мировой энергетической конференции в этом отношении необходимо расценивать положительно для ТЭС с адиабатическим фазообразованием как наиболее эффективного способа производства электрической энергии [5—9]. Огромных трудностей и материальных затрат стоило освоение в нашей стране блоков с более низкой начальной температурой пара, чем в прошлом в блоках США, в 565°C в прошлой семилетке. Еще больших напряжений и дополнительных материальных затрат потребовало освоение и эксплуатация блоков в 300 Мвт на температуру пара в 560°C при закритическом давлении введенных в эксплуатацию в конце прошлой семилетки основных агрегатов девятой пятилетки. В результате невозможности достичь проектных показателей работы таких блоков в течение многих лет в 1971 году было принято решение снизить температуру пара в блоках закритического давления мощностью в 300, 500, 800 и выше Мвт до 540°C . Это решение фактически ознаменовало переход отечественной энергетики, как это прежде произошло с энергетикой США, на низкую реально достижимую температуру пара в мощных блоках закритического давления. Еще более наглядным примером несостоятельности современного паросилового цикла является застой в снижении удельного расхода топлива за последние 5—6 лет в ряде передовых капиталистических стран мира и прежде всего в США. Насыщение энергетики США самыми мощными и совершенными блоками в мире не привело к ожидаемому снижению удельного расхода топлива в стране. За последние пять лет удельный расход топлива в энергетике США не только не сократился, но даже несколько возрос — с 361 г/квтч в 1963 году до 363 г/квтч в 1967 году. В Англии за последние шесть лет значительный ввод блочной мощности также не обеспечил снижения удельных расходов топлива в стране, которые стабильно остаются на уровне 440—445 г/квтч. Особенно примечательно то, что за рубежом произошла переоценка возможностей современных блоков. Теперь многие энергетики мира новые блоки рассматривают как последний этап развития классической теплоэнергетики перед заменой ее атомными электрическими станциями, а также пришли к выводу о предельных возможностях — «потолке» современных блоков при невысокой температуре пара в 555 — 540°C . Потребовались огромные материальные затраты, многолетняя и многообразная деятельность по разработке, освоению и эксплуатации блоков со сверхвысокой температурой пара, чтобы убедиться в ошибочности такого пути развития теплоэнергетики на очень высокую температуру пара. Такая температура пара современного паросилового цикла в мощных установках оказалась на 90 — 110°C ниже той, которую начали осваивать полтора десятка лет тому назад, и на 150 — 200°C ниже той, которую предсказывали теплоэнергетики в прошлом на сегодняшнее время — на 1970—1975 годы. В этом заключается регресс современного паросилового цикла в большой энергетике, невозможность его обеспечить дальнейший существенный прогресс в теплоэнергетике, и объективные условия для перевода ее на адиабатическое фазообразование как средство технического прогресса в теплоэнергетике.

Теперь особенно очевидна ошибочность рекомендаций по переводу отечественной энергетики на сверхвысокие начальные параметры пара в 580 — 650°C , сделанных еще в начале пятидесятых годов. В этой свя-

зи стоит также напомнить неоправданный оптимизм участников совещания по паротурбинным установкам с адиабатическим парообразованием в ЭНИН в 1965 году в Москве, которые утверждали о широкой перспективе и возможностях повышения начальных параметров и тепловой экономичности отечественных блоков большой мощности и отрицали на этом основании необходимость развития работ ТПИ по паротурбинным установкам, актуальность этих исследований. В основу перевода энергетики на блочные установки как за рубежом, так и в нашей стране в прошлом, была положена технически и экономически неоправданная, как затем стало очевидным, высокая термодинамическая эффективность современного паросилового цикла сверхвысокой начальной температуры пара, расчетные (теоретические) показатели работы таких блоков в базовой нагрузке в предположении высокой надежности работы и малых сроков освоения. Внедрению таких блоков не предшествовал и глубокий анализ реальных возможностей осуществления и целесообразности реализации таких расчетных и проектных показателей работы блоков, научно обоснованные прогнозы, знание новых проблем и путей их решения как по самим блокам, так и по энергосистемам и энергетике страны в целом.

Для обеспечения этого нового этапа развития энергетики в высокоразвитых странах мира была проделана огромная работа, перед которой меркнут масштабы и научные достижения прошлого периода развития теплоэнергетики. Однако ни высокий уровень организации научных исследований, ни невиданные в прошлом интенсивность и масштабы этих исследований, ни большие усилия эксплуатационного персонала ТЭС и энергосистем, монтажных, наладочных и других организаций и энергетической промышленности, не позволили преодолеть недостатков современного паросилового цикла и реализовать теоретические возможности такого цикла сверхвысокой температуры пара 600—650°C и давлений в 300—350 ат, с которых начали осуществлять новый этап развития теплоэнергетики 15—20 лет тому назад в наиболее развитых странах мира. Сроки освоения проектных показателей блоков сверхвысокой температуры растянулись на многие годы, что предполагалось и было принято в проектах. Блоки же с температурой пара свыше 570°C оказались экономически неоправданными, эксплуатационно ненадежными, технически неподготовленными. Освоение и эксплуатация таких блоков сопровождалась невиданной в истории энергетики низкой надежностью работы и огромной аварийностью, малым числом часов использования установленной мощности, недопроизводством огромного количества электроэнергии, потребовали больших ежегодных дополнительных капиталовложений, а также низкой тепловой экономичностью работы таких блоков в течение многих лет. Полная непригодность и нецелесообразность работы блоков на переменном режиме приводит к резкому ухудшению экономичности энергосистем, к широкому использованию в переменной части нагрузок неэкономичных ТЭС и пиковых установок. В результате действия этих противоречивых факторов произошел застой в снижении удельного расхода топлива за последние годы в США, Англии и других развитых странах, несмотря на ежегодное внедрение большой мощности блочных установок.

С этих позиций необходимо подходить к оценке паротурбинных установок с адиабатическим фазообразованием, а также для коренного пересмотра сложившейся ситуации с целью реализации задачи перевода энергетики на адиабатическое фазообразование. Перевод отечественной энергетики на адиабатическое фазообразование полностью подготовлен современным состоянием развития теплоэнергетики и может осуществляться широким фронтом и быстрыми темпами со

значительным снижением материальных затрат и с большой эффективностью в эксплуатации. Перевод ТЭС на адиабатическое фазообразование базируется на хорошо освоенном энергетическом оборудовании невысоких давлений пара (паровых турбин промышленных ТЭС, ЦСД и ЦНД современных блоков, паропроводов и пароперегревателей невысокого давления, вспомогательного оборудования), на организации производства дешевых элементов таких установок [5, 7, 9] (турбин с адиабатическим фазообразованием, низкотемпературных котлов с пароперегревателем низкого давления) с прекращением производства прямоточных дорогих котлов СКД, цилиндров паровых турбин сверхвысокого давления и других элементов в части сверхвысоких и закритических параметров пара. Такой перевод энергетики на адиабатическое фазообразование устраняет недостатки современного паросилового цикла в блочных установках и промышленных ТЭС [5—9]. Степень подготовленности и обоснованности внедрения блоков АФ в настоящее время несравнимо более высокая, чем это имело место для блоков с традиционным паросиловым циклом при их внедрении в США, ФРГ, СССР и других странах.

В паротурбинных установках с АФ используются все основные свойства адиабатического фазообразования: получение новой фазы, кинетической энергии потока и дисперсность потока. Этим определяется своеобразие циклов и тепловых схем, технологического процесса и элементов таких энергетических установок [5—9]. При этом удачным является в установках с АФ первоначальной модификации использование современного энергетического оборудования в наиболее простой и дешевой его части с сохранением общестанционного и вспомогательного оборудования, а также строительных, компоновочных и других решений современных ТЭС.

Турбина АФ является принципиально новым и прогрессивным элементом паротурбинных установок с адиабатическим фазообразованием первоначальной модификации и может по конечному результату процесса АФ выполняться как испаритель-генератор или как конденсатор-генератор (при подаче рабочего тела несколько выше критического состояния — 230—250 атм, 380—385°C). Насыщенный пар в последнем случае для паровой части цикла получается за счет конденсации паровой фазы в турбине «КГ». Этот тип турбины АФ обеспечивает более высокую тепловую экономичность таких установок, снижает конечную влажность потока в проточной части и расход энергии на циркуляционный насос котла по сравнению с турбинами «ИГ». Турбина АФ как энергетический агрегат обладает значительными преимуществами перед

Таблица 1

Сравнение проектных показателей современного котла и котла АФ

Марка стали элементов котла под давлением	Блок 1200 Мвт, 247 атм, 565° С 62 атм, 570° С, 19/570° С 11		Блок АФ200 Мвт 224/373, 36/560		Изм. относ. С бл. 1200 Мвт
	%	кг/квт	%	кг/квт	%
Углеродистая сталь	20,7	0,628	85,4	2,21	353
Перлитная сталь	67,7	2,05	11,6	0,30	14,65
Аустенитная сталь	11,6	0,357	3,0	0,08	22,40
Расход перлитных и аустенитных сталей	79,3	2,41	14,6	0,38	15,75
Общий расход металла	100%	3,03	100%	2,59	85,30

паровыми турбинами, особенно перед цилиндрами СВД и ВД, которые она заменяет в современных установках.

Котлы паротурбинных установок АФ не имеют недостатков современных прямоточных котлов закритических параметров и барабанных котлов на докритические давления пара [5, 8].

Для некоторого сравнения преимущества котлов установок АФ в табл. 1 приведены проектные данные современного котла закритического давления [11] блока 1200 Мвт и котла АФ блока в 200 Мвт [5].

Тепловая экономичность ТЭС АФ и сравнение ее с блоком К-300-240 в 300 Мвт приведены в табл. 2. Котел установки АФ в 200 Мвт на 15% имеет меньший расход металла, чем котел блока в 1200 Мвт на закритические параметры пара. Расход перлитных сталей в 6,8, а аустеничных в 4,5 раза у котла АФ меньше, чем котла блока 1200 Мвт.

Таблица 2

Сравнение проектных показателей блока К-300-240 и АФ-300

Показатели	К-300-240, 240/580, 35/565° С	АФ-300, 230/380 С 45/565° С
К.п.д. брутто	0,389	0,406
К.п.д. нетто	0,378	0,380
Удельный расход топлива, г/квтч	325 (нетто)	314 (нетто)
Удельный расход пара, кг/квтч	2,94	2,84
Расход пара через ЦСД, т/час	740	858
Расход пара через ЦВД, т/час	884	ЦВД нет
Расход рабочего тела через турбину АФ, т/час	Турбины АФ нет	1279
Расход пара в конденсатор, т/час	530	587

Высокая надежность работы блоков АФ и их мобильность, низкая аварийность и другие положительные характеристики таких блоков прогнозировались в прошлом на основании теоретических исследований, в настоящее время подтверждаются практикой освоения и эксплуатацией современных блоков в мировой и отечественной энергетике.

Низкая стоимость энергетического оборудования, высокая экономичность ТЭС с АФ наряду с высокими эксплуатационными показателями блоков АФ позволяют рекомендовать внедрение адиабатического фазообразования в энергетику страны и прежде всего для повышения эффективности теплоэнергетики Сибири — для строительства мощных, надежных и дешевых блоков на сибирских углях открытой разработки для массового производства и транспорта электрической энергии в западные районы страны.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. Д. Лавриненко. Седьмой Мировой конгресс энергетиков. «Теплоэнергетика», № 8, 1968.
2. В. Б. Пакшевер. Вопросы теплоэнергетики на VII Мировой энергетической конференции. «Энергохозяйство за рубежом», № 5, 1968.
3. В. Г. Жилин, А. М. Некрасов, А. С. Павленко. Энергетика СССР и ближайшие перспективы ее развития. «Электрические станции», № 8, 1968.

4. Д. Г. Жимерин. Проблемы развития теплоэнергетики СССР. «Теплоэнергетика», № 8, 1968.
 5. С. В. Положий. Паросиловые установки с адиабатическим парообразованием. Изв. Вузов СССР Энергетика, № 1, 1965.
 6. С. В. Положий. Паросиловые циклы с адиабатическим парообразованием. Изв. ТПИ, том 150, 1968.
 7. С. В. Положий. Испарители-генераторы паросиловых установок с адиабатическим парообразованием. Изв. ТПИ, том 150, 1968.
 8. С. В. Положий. Повышение эффективности промышленных электростанций посредством применения адиабатического парообразования. Изв. ТПИ, том 150, 1968.
 9. С. В. Положий. Состояние и перспективы научных исследований по проблеме адиабатического парообразования. Изв. ТПИ, том 150, 1968.
 10. С. В. Положий. К вопросу о кинетике процесса конденсации пара в турбинной ступени. Изв. ТПИ, том 137, 1965.
 11. В. С. Патыченко, С. И. Мочан, М. З. Гудкин, Б. М. Шлейфер, Л. М. Христин, В. И. Шелтун, С. И. Зарайский. Разработка котельного агрегата для блока мощностью 1200 Мвт. «Энергомашиностроение», № 7, 1968.
-